

Сравнительная оценка основанных на законах распространения света интеллектуальных поисковых и оптимизационных алгоритмов¹

Б. АЛАТАС, Х. БИНГОЛ

Университет Фират, Элязыг, Турция
E-mail: balatas@firat.edu.tr

Аннотация

Классические поисковые и оптимизационные алгоритмы неэффективны в случае сложных нелинейных динамических крупномасштабных задач с неполными исходными данными. Поэтому в качестве рабочих вариантов были предложены интеллектуальные оптимизационные алгоритмы, в основу которых положены естественные процессы (физические, биологические, химические, математические и др.). Так что в основу многих интеллектуальных оптимизационных алгоритмов положены физические и биологические процессы, которые они моделируют. Концепция постоянного поиска наилучших решений и отсутствие общего для всех задач наиболее эффективного алгоритма обусловили появление абсолютно новых методов или новых вариантов существующих методов, которые позволили бы решать очень сложные задачи оптимизации. В основу двух предложенных недавно алгоритмов, а именно, алгоритма лучевой оптимизации (*Ray Optimization*) и алгоритма оптической оптимизации (*Optics Inspired Optimization*), был положен свет, вследствие чего в данной работе их называют основанными на законах распространения света интеллектуальными оптимизационными алгоритмами (*Light-based Intelligent Optimization Algorithms*). В основу этих относительно новейших поисковых и оптимизационных алгоритмов были положены законы преломления и отражения света. В данной работе впервые проведены в одинаковых условиях исследования этих основанных на законах распространения света интеллектуальных оптимизационных алгоритмов и проанализирована их эффективность применительно к свободным от ограничений базовым функциям (*benchmark functions*) и имеющим ог-

раничения реальным конструкторским задачам. Полученные результаты продемонстрировали преимущество лучевой оптимизации, которая, скорее всего, позволит решать многие сложные задачи.

Ключевые слова: оптимизация, основанная на законах оптики оптимизация, лучевая оптимизация, искусственный интеллект

1. Введение

Оптимизация охватывает все стороны нашей жизни, от конструирования до промышленного проектирования, от планирования бизнеса до планирования поездок [1]. В последние годы оптимизация приобрела даже большее значение. Эволюционные и популяционные (*population-based*) методы оптимизации очень популярны и применяются во многих областях техники [2]. Эти методы оптимизации позволяют осуществлять разумный выбор одного из нескольких вариантов и обеспечивают подходящую среду для решения разных задач [1]. Для большинства оптимизационных алгоритмов нужна математическая модель рассматриваемой системы. Создание математической модели сложной системы часто сопряжено с большими трудностями. Даже при наличии модели, на решение задачи может потребоваться непозволительно много времени [3]. Так что разработка оптимизационных алгоритмов является очень сложным процессом, основанным на физических явлениях, позволяющих получить глобальные и локальные операторы поиска [2].

Классические методы оптимизации могут оказаться недостаточными и неподходящими для решения сложных нелинейных крупномасштабных задач поиска и оптимизации. Классические методы нельзя эффективно приспособить для решения всех интересующих нас задач. Во многих случаях это требует ряда допущений, которые будет трудно обосновать. Часто из-за

того, что в основе классических методов поиска лежат естественные механизмы, рассматриваемую задачу моделируют так, чтобы с ней можно было справиться именно этими методами. При использовании классических методов стратегия решения обычно зависит от характера целей и ограничений и от типов параметров принятия решений. Эффективность этих методов существенно зависит также и от области поиска и количества ограничений и параметров принятия решений. Ещё один важный недостаток заключается в том, что они не предлагают общие стратегии решения задач с разными типами ограничивающих функций и переменных. Другими словами, классические методы решают задачи с целевыми и ограничивающими функциями определённого типа. Однако многие задачи оптимизации, например, в областях управления, спорта, конструирования, экономики, компьютеров и т.д., нуждаются в целевых и ограничивающих функциях и переменных разных типов одновременно. Интеллектуальные поисковые и оптимизационные алгоритмы эффективно применяются во многих областях благодаря присущим им вычислительным достоинствам и лёгкости их преобразования [3].

Интеллектуальные поисковые и оптимизационные алгоритмы общего назначения делятся на группы в соответствии с тем, что – биология, социология, химия, физика, музыка, математика, спорт, рой насекомых, растения, свет или вода – было положено в их основу. Их комбинации также можно рассматривать как отдельную категорию. Основанная на законах оптики оптимизация (*OIO*) (*Optics Inspired Optimization*) и лучевая оптимизация (*RO*) (*Ray Optimization*) являются новейшими интеллектуальными оптимизационными алгоритмами, в основу которых было положено распространение света. В основу *OIO* были положены оптические характеристики выпуклых и вогнутых зеркал, которые могут использоваться для поиска наилучших решений в случае различных поисковых и оптимизационных задач. Падающие на выпуклое зеркало лучи света отражаются в сторону, противоположную главной оси, то есть расходятся. Если же лучи падают на вогнутое зеркало, то они отражаются в направлении главной оси, то есть сходятся. Возмож-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

ности *OIO* в части поиска в пределах всего пространства и поиска в пределах перспективных участков, выявленных при поиске в пределах всего пространства (далее – глобальный поиск и перспективный поиск соответственно (*exploitation and exploration*)), определяются законами отражения света выпуклыми и вогнутыми зеркалами [4, 5]. В соответствии с законом преломления света Снеллиуса, свет преломляется при прохождении границы сред с разными коэффициентами преломления. Исходя из этой особенности, в *RO* свет используется как возможное решение. Распространение лучей используется для получения оптимальных решений [6].

В 2013 г. *Kaveh* и *Khayatazad* использовали *RO* для минимизации веса балочной фермы с учётом необходимых ограничений [7]. В рамках этого исследования было проведено сравнение количественных результатов, полученных для пяти конструкций балочной фермы, показавшее, что полученный вес фермы оказался на приемлемом уровне. Использование *RO* привело к более хорошим результатам, чем использование алгоритмов *GA* [8], *ACA* [9], *BBBC* [10] и *PSO* [11]. Однако его эффективность оказалась несколько меньшей, чем у *HPSACO* [12], который является гибридным. *Kaveh* и др. разработали *RO* в 2013 г и применили этот новый подход для решения задач, в котором нет ограничений на количество переменных. Поэтому в *RO* уже не нужно было группировать переменные [13]. Разработка *RO* обеспечила улучшение баланса между глобальным поиском и перспективным поиском. Кроме того, этот алгоритм был улучшен в части ограничений на перенос (*transport constraints*) [14]. В 2014 г. при помощи *RO* был реализован эффективный гибридный метод оптимизации формы и размеров балочных ферм [14]. В этом гибридном методе были совместно использованы алгоритмы *PSO*, *HS* и *RO*, причём главную роль играл *PSO* [14]. При этом вектор перемещения формировался при помощи *RO*, тогда как *HS* использовался для усиления локальных поисковых возможностей. Результаты, полученные при использовании этого гибридного метода, показали, что он позволяет получить более хорошие результаты, чем существующие математические и интеллектуальные оптимизационные алгоритмы [14].

Алгоритм *OIO* был использован в 2015 г. применительно к задачам с ограничениями, а именно, к пяти реальным механическим инженерным задачам [5]. *OIO* был сопоставлен со многими интеллектуальными методами оптимизации, такими как *CPSO* [15], *PSRE* [16], *RSPSO* [17], *IHS* [18], *FSA* [19] и *SES* [20]. В результате *OIO* оказался лучшим из них [5]. В 2015 г. была опубликована магистерская диссертация на тему разработки основанного на *OIO* нового перестановочного метода решения комбинаторных оптимизационных задач [21], а в 2016 г. была опубликована магистерская диссертация на тему создания основанных на *OIO* методов обработки изображений [22]. В 2015 г. алгоритм *OIO* был использован для решения задачи коммивояжёра [23] и комбинаторной квадратичной задачи о назначениях [24], а в 2016 г. он был использован для маршрутизации и кластеризации в беспроводных сенсорных сетях [25]. Задача выбора и соединения главных узлов кластеров (*cluster head*) в случае беспроводных сенсорных сетей является хорошо известной оптимизационной задачей по причине своей вычислительной сложности в случаях больших сетей. В [25] *OIO* был приспособлен для решения задачи выбора главных узлов кластеров с учётом расстояний, энергии и уровней узлов.

Основанный на *OIO* метод маршрутизации был предложен для расчёта пути к станции от каждого из главных узлов кластеров с учётом тех же параметров, а именно, расстояния, энергии и уровней узлов. Эффективность *OIO* была проверена и сопоставлена с другими способами маршрутизации. В результате алгоритм *OIO* оказался более удачным, чем все остальные алгоритмы. Традиционные алгоритмы, такие как *HF* [26], *EADC* [27] и *DHCR* [28], оказались непригодными для решения задач выбора главных узлов кластеров и маршрутизации, так как производительность этих традиционных алгоритмов быстро уменьшалась по мере увеличения размера сети. В исследованиях последних лет было высказано предположение о возможности разработки основанного на искусственном интеллекте метода, позволяющего максимально увеличить область охвата и распределить узлы таким образом, чтобы свести их количество к минимуму [25]. В 2016 г. при помощи алгоритма *OIO*, использовавше-

гося применительно к охватывающей две области энергетической системе, была проведена оптимизация коэффициента усиления регулятора частоты с оптимальной нагрузкой. В этом случае *OIO* использовался для получения оптимальных параметров пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора, регулирующего частоту в охватывающей две области энергетической системе [29]. Эффективность *OIO* при решении этой задачи сравнивалась с эффективностью алгоритмов *PSO* и *Bacteria Foraging Optimization Algorithm* [30]. *OIO* оказался более хорошим, чем эти алгоритмы, в части значений максимального времени отключения и урегулирования (*blackout and settlement time*). Было высказано предположение о возможности разработки оптимального ПИД-регулятора с функцией самонастройки, что продемонстрировало бы увеличение практической полезности *OIO* [30].

Интеллектуальные поисковые и оптимизационные алгоритмы были предложены для эффективного решения разных задач. Одна из важных современных тенденций в области интеллектуальных алгоритмов заключается в разработке новых методов поиска на основе законов распространения света. Связанные со светом концепции, явления и процессы используются при разработке эффективных оптимизационных алгоритмов. В данной работе делается попытка рассмотрения наиболее важных положений двух уже существующих новых интеллектуальных методов оптимизации, в основу которых были положены законы распространения света, а также их отличительных особенностей, применительно к решению сложных задач оптимизации. Эффективность основанных на законах распространения света интеллектуальных оптимизационных алгоритмов впервые сравнивается в одинаковых условиях применительно к свободным от ограничений базовым функциям (*benchmark functions*) и имеющим ограничения реальным конструкторским задачам.

2. Методы

Природа всегда была для людей хорошим учителем. Например, изобретение радиолокации стало возможным благодаря изучению поведения лету-

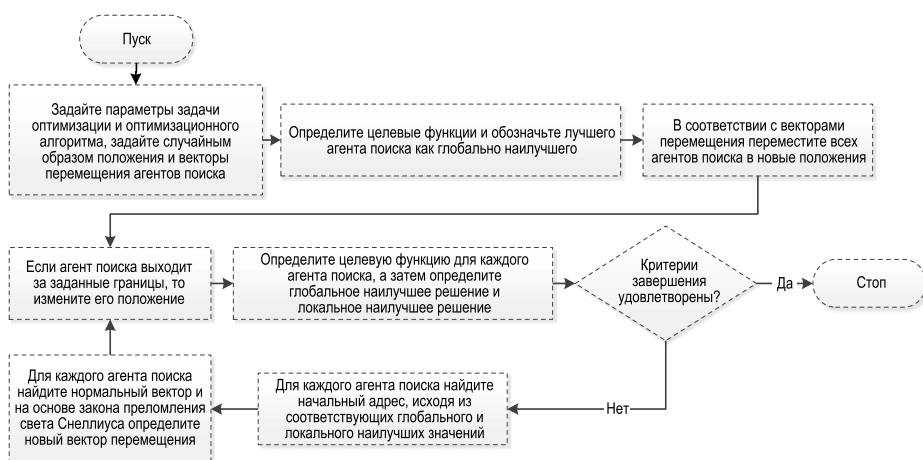


Рис. 1. Блок-схема RO [6]

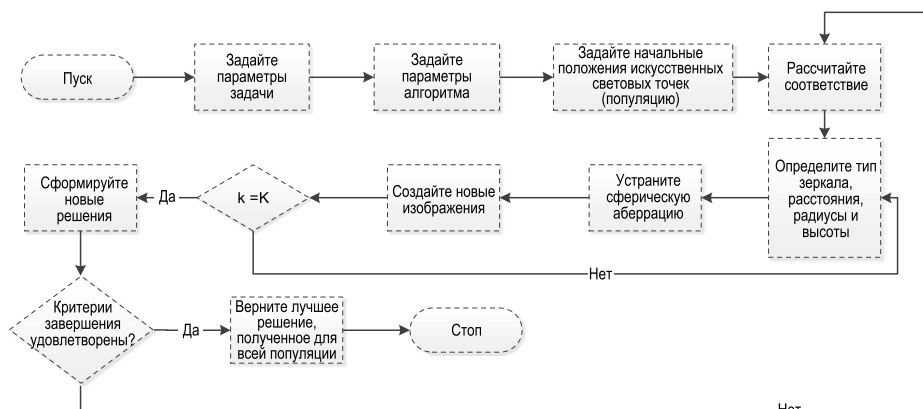


Рис. 2. Блок-схема O/O [4, 5]

чих мышей. Интеллектуальные методы оптимизации, в основу которых положены поведение живых существ или природные явления, используются для решения задач, отнимающих много времени или не допускающих формирование математических моделей. Для многих задач область поиска решения или бесконечна, или настолько велика, что невозможно рассмотреть все варианты их решения. Для получения приемлемого результата требуется оценить все решения и выбрать из них хорошее. Оценка решений, позволяющая найти приемлемое решение подобной задачи, на самом деле означает оценку только «некоторых решений» из всего пространства решений. Способ, используемый для отбора этих некоторых решений, и то, как осуществляется их выбор, зависит от метода применения искусственного интеллекта [31].

Решение задачи, полученное интеллектуальным оптимизационным методом, может рассматриваться как хорошее, глобальное или почти глобальное оптимальное решение [31]. Интеллектуальный оптимизационный алгоритм

представляет собой вычислительный метод, предназначенный для определения того, какое из возможных действий окажется эффективным для выполнения какой-то задачи или достижения поставленной цели.

Интеллектуальные оптимизационные алгоритмы группируют в зависимости от того, основаны они на природных явлениях или нет, от количества – один или несколько – вариантов решений, которые они рассматривают, от характера – динамическая или статическая – целевой функции, от того, используется или нет структура памяти, и от того, какая – единая или множественная – структура окрестности используется.

Причины потребности в интеллектуальной оптимизации заключаются в следующем:

- задача оптимизации может иметь структуру, при которой невозможно задать процесс поиска оптимального решения;
- с точки зрения наглядности, интеллектуальные поисковые алгоритмы могут быть намного более понятными для лиц, принимающих решения;

- интеллектуальные оптимизационные алгоритмы могут использоваться как часть процесса обучения и поиска точного решения;

- определения, сформулированные при помощи математических выражений, часто игнорируют наиболее сложные части реальных задач. Неточность данных, используемых для определения параметров модели, может привести к большим ошибкам, чем в случае субоптимального решения, которое может быть получено в рамках интеллектуальной оптимизации [32].

Интеллектуальные оптимизационные алгоритмы общего назначения делятся на группы в соответствии с тем, что – биология, социология, химия, физика, музыка, математика, спорт, рой насекомых, растения, свет или вода – было положено в их основу. Их комбинации также можно рассматривать как отдельную категорию.

Все эти популяционные итерационные методы при проведении вычислений поддерживают равновесие между глобальным поиском и перспективным поиском. В общем случае глобальный поиск будет более эффективным на начальных итерациях, а ближе к концу увеличится значимость перспективного поиска.

2.1. Лучевая оптимизация (RO)

RO представляет собой популяционный вероятностный интеллектуальный поисковый и оптимизационный алгоритм, который был предложен в 2012 г. [6]. Свет, который относится к естественным явлениям, изменяет направление своего распространения в соответствии с законами оптики при переходе из светлой среды в темную (*from the light environment into a dark environment*). Исходя из этой особенности света, в RO в качестве возможного решения используются лучи света. Такое поведение света помогает проводить перспективный поиск уже на первых итерациях и помогает обеспечить сходимость к оптимальному решению на последних итерациях [6]. Оптимизационный процесс завершается тогда, когда удовлетворены заданные условия. Если они не удовлетворены, то оптимизационный процесс продолжается, и возможные решения перемещают в новые точки. Итерации проводят до тех пор, пока не будут удовлет-

Эффективность алгоритмов на примере базовых функций

Базовая функция	Оптимизационные алгоритмы				
	<i>GEN</i>	<i>GEN_S</i>	<i>GEN_S_M_LS</i>	<i>OIO</i>	<i>RO</i>
Гривонка, $n=2$	18838 (0,91)	3111 (0,91)	1652 (0,99)	1825,94	1091 (0,98)
Сферическая, $n=3$	9900	3040	1281	506,72	452
Гольдштейна-Прайса, $n=2$	1478	1478	1325	1071,4	451
Экспоненциальная, $n=2$	938	936	807	572,14	136
Экспоненциальная, $n=4$	3237	3237	1496	1376,18	382
Экспоненциальная, $n=8$	3237	3237	1496	2889,08	1287
Экспоненциальная, $n=16$	8061	8061	1945	28994,14	17236 (0,46)
Смешанная косинусная, $n=4$	2105	2105	1539	1673,7	802
Бохачевского-1, $n=2$	3992	3356	1615	567,36	677
Бохачевского-2, $n=2$	20234	3373	1636	620,7	582
Растригина, $n=2$	1533 (0,97)	1523 (0,97)	1381	753	1013 (0,98)

ворены заданные условия. Блок-схема *RO* приведена на рис. 1 [6].

2.2. Алгоритм оптической оптимизации (*OIO*)

OIO представляет собой основанный на законах оптики интеллектуальный оптимизационный алгоритм, который был предложен в [4, 5]. При этом свойства света и его поведение подчиняются законам оптики. Практическое применение этих законов охватывает зеркала, линзы, телескопы, микроскопы, технические устройства и т.д. Кривое или сферическое зеркало имеет искривлённую вогнутую или выпуклую отражающую поверхность. Большинство кривых зеркал имеют сферическую форму.

Попадая на вогнутое зеркало, лучи света отклоняются в направлении главной оси, то есть сходятся, а попадая на выпуклое зеркало, лучи света отклоняются в направлении от главной оси, то есть расходятся. Возможности *OIO* в части глобального и перспективного поисков определяются этими присущими зеркалам процессами. Другими словами, отражающая поверхность зеркала играет роль поисковой функции. Блок-схема *OIO* приведена на рис. 2 [4, 5].

3. Результаты

3.1. Результаты, полученные применительно к свободным от ограничений базовым функциям

Исследователи часто используют базовые функции для сравнения оп-

тимизационных и поисковых алгоритмов [33]. Существует большое количество базовых задач, которые называют одномодальными, многомодальными и смешанными. Помимо того, что базовые функции описываются сложными математическими выражениями, они могут иметь многочисленные локальные и глобальные минимумы. Из-за этих особенностей эффективность интеллектуальных оптимизационных алгоритмов оценивается в одинаковых условиях. В данном исследовании эффективность основанных на законах распространения света интеллектуальных поисковых и оптимизационных алгоритмов (*light-based intelligent search and optimization algorithms*) сравнивалась применительно к следующим базовым функциям: функция Гривонка, смешанная косинусная функция, функция Гольдштейна-Прайса, сферическая функция, экспоненциальная функция, функция Бохачевского-1, функция Бохачевского-2 и функция Растригина.

Сравнение эффективности *OIO* и *RO*, которые относятся к основанным на законах распространения света оптимизационным алгоритмам, проведено в табл. 1 применительно к базовым функциям. Там же проведено сравнение этих основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов с несколькими разновидностями генетического алгоритма [6]. В таблице также приведено количество оценок функций, обеспечивающее заданную точность ($\epsilon = f_{min} - f_{final} = 10^{-4}$). Значения, приведённые в табл. 1 в круглых скобках, соответствуют относительному количеству

результативных прогонов алгоритмов, обеспечивших эту заданную точность. Отсутствие скобок говорит о том, что все прогоны алгоритма были результативными. При проведении расчётов размерность задачи в случае сферической и смешанной косинусной функций была равна 3 и 4 соответственно, тогда как для остальных функций она была равна 2. Размер популяций (*number of populations*) был равен 20, количество оценок функций (*NFE*) было равно 20000, а количество независимых прогонов было выбрано равным 50. Кроме того, для оценки эффективности основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов при решении задач большой размерности, были рассмотрены ещё и экспоненциальные функции порядка 2, 4, 8 и 16. В случае экспоненциальной функции при равной 16 размерности задачи и равном 100 размере популяций *NFE* оказалось равным 50000 (полученные результаты приведены в табл. 1). В этой таблице *GEN*, *GEN_S* и *GEN_S_M_LS* представляют собой варианты генетического алгоритма, которые были сочтены перспективными [10].

При подробном рассмотрении табл. 1 видно, что в случае функции Гривонка применение *RO* приводит к более хорошим результатам по сравнению со всеми остальными интеллектуальными оптимизационными алгоритмами. Более хорошие решения в части относительного количества результативных прогонов обеспечивал *OIO*. Основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы представляются на-

Результаты оптимизации, полученные при использовании различных методов решения задачи конструирования пружины, работающей на растяжение/сжатие

Метод	Конструктивные параметры и наилучшие результаты (f_{cost})			
	x_1	x_2	x_2	f_{cost}
<i>RO</i>	0,051370	0,349096	11,76279	0,0126788
<i>OIO</i>	0,054557	0,429089	8,053812	0,0128404
<i>Belegundu</i>	0,050000	0,315900	14,250000	0,0128334
<i>Arora</i>	0,053396	0,399180	9,185400	0,0127303

много более результативными, чем прочие алгоритмы, в случаях сферической функции, функции Гольдштейна-Прайса, функции Бохачевского-1, функции Бохачевского-2 и экспоненциальной функции с $n = 2$ и $n = 4$. В случае экспоненциальной функции с $n = 8$ оказалось, что лучше остальных алгоритмов работает *RO*. Однако нельзя считать, что основанные на законах распространения света методы всегда лучше всех остальных методов, так как применительно к экспоненциальной функции алгоритм *OIO* оказался хуже алгоритма *GEN_S_M_LS*. Было замечено, что в случае смешанной косинусной функции наиболее результативным методом оказался *RO*. Алгоритм *OIO* оказался, однако, более результативным, чем алгоритмы *GEN* and *GEN_S*, но менее результативным, чем *GEN_S_M_LS*. В случае функции Растригина наилучшим алгоритмом представляется *OIO*.

3.2. Результаты, полученные применительно к реальным конструкторским задачам

3.2.1. Пружина, работающая на растяжение/сжатие

Эта конструкторская задача была впервые рассмотрена в [7]. Целью при этом являлась минимизация веса работающей на растяжение/сжатие пружины при наличии ограничений в части минимального прогиба, частоты приложения нагрузки и напряжения сдвига [7]. У задачи были четыре ограничения в виде нелинейных неравенств и три непрерывные переменные.

При проведении расчётов размер популяций был равен 40, *NFE* было равно 10000, а количество независимых прогонов было равно 50. Эффективность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов рассматривалась в оди-

Таблица 3
Средние значения (f_{mean}) и среднеквадратичные отклонения (*Std. Dev.*) результатов для задачи о растяжении/сжатии пружины

Метод	f_{mean}	<i>Std. Dev.</i>
<i>RO</i>	0,13547	0,001159
<i>OIO</i>	0,01326	0,000297

наковых условиях. Конструктивные параметры задачи и наилучшие результаты (*best cost values*) приведены в табл. 2, а в табл. 3 приведены средние значения и среднеквадратичные отклонения результатов, полученных при решении данной задачи при помощи разных алгоритмов.

Как следует из табл. 2, применительно к наилучшим результатам (f_{cost}) *RO* работает лучше, чем *OIO*. А так как результаты, полученные при использовании *OIO*, оказались не лучше, чем при использовании *Belegundu* и *Arora* [34], то нельзя утверждать, что все основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы лучше остальных алгоритмов. Однако как следует из приведённых в табл. 3 среднеквадратичных отклонений и средних значений параметров, *OIO* обеспечивает получение более стабильных результатов, чем *RO*.

3.2.2. Сварная балка

Основная цель этой конструкторской задачи состоит в обеспечении минимальной стоимости изготовления сварной балки при наличии ограничений на напряжение сдвига, сосредоточенную нагрузку (*bulking load*), напряжение при изгибе, отклонение конца балки; имеется также и дополнительное ограничение (*side constraint*) [7, 30, 35]. В задаче имеются четыре непрерывные переменные.

При проведении расчётов размер популяций был равен 40, *NFE* было равно 10000, а количество независимых прогонов было равно 50. Эффективность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов рассматривалась в одинаковых условиях. Конструктивные параметры задачи и наилучшие результаты приведены в табл. 4, а в табл. 5 приведены средние значения и среднеквадратичные отклонения результатов. При этом эффективность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов сравнивалась и с эффективностью других математических оптимизационных алгоритмов.

Как показано в табл. 4 и 5, применительно к наилучшим (f_{cost}) и средним (f_{mean}) результатам *RO* работает лучше, чем *OIO*. Кроме того, из табл. 5 следует, что основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы работают успешнее, чем другие методы, такие как итерационный, *David*, симплексный и случайных чисел [35]. А из приведённых в табл. 4 результатов расчётов следует, что если говорить о реальных конструкторских задачах, то по сравнению с прочими рассмотренными методами основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы хуже подходят для поиска локальных минимумов и лучше сходятся к глобальным минимумам.

Оптимальные результаты для сварной балки

Метод	Конструктивные параметры и наилучшие результаты (f_{cost})				
	x_1	x_2	x_2	x_4	f_{cost}
<i>RO</i>	0,2037	3,5285	9,0042	0,2072	1,7353
<i>OIO</i>	0,1914	3,8049	9,1382	0,2052	1,7605
Итераций	0,2444	6,2189	8,2915	0,2444	2,3815
<i>David</i>	0,2434	6,2552	8,2915	0,2444	2,3841
Симплексный	0,2792	5,6256	7,7512	0,2796	2,5307
Случайных чисел	0,4575	4,7313	5,0853	0,6600	4,1185

4. Обсуждение

Таблица 5

Средние значения (f_{mean}) и среднеквадратичные отклонения (*Std. Dev.*) результатов для сварной балки

Метод	f_{mean}	<i>Std. Dev.</i>
<i>RO</i>	0,13547	0,001159
<i>OIO</i>	0,01326	0,000297

Если говорить о реальных практических задачах оптимизации, то существует большое количество интеллектуальных методов, в основу которых положены природные и другие явления. Почти все интеллектуальные оптимизационные алгоритмы содержат основанные на популяциях метаэвристические поисковые процедуры, включающие в себя случайные выбор и изменения. Эти алгоритмы должны включать в себя две ключевые составляющие: глобальный поиск и перспективный поиск.

RO и *OIO* – это два метода, в основу которых были положены связанные со светом концепции, явления и процессы, вследствие чего в данной работе их называют основанными на законах распространения света оптимизационными алгоритмами. Согласно полученным экспериментальным результатам, алгоритм *RO* в целом лучше алгоритма *OIO* как в случае свободных от ограничений базовых функций, так и в случае имеющих ограничения реальных конструкторских задач. Однако если сравнивать с другими методами, то эти алгоритмы не всегда оказываются наилучшими. Согласно теореме «Бесплатного обеда не бывает» (*No-Free-Lunch theorem*), нет одного-единственного наиболее эффективного универсального метода решения оптимизационных задач всех типов. Несмотря на свою теоретическую обоснованность, теорема «Бесплатного обеда не бывает» имеет ограниченное практическое значение, так как на практике не требуется ни решение всех задач, ни усреднённое рассмотрение. На практике, одной из основных целей оптимизационных задач является получение за приемлемое

время высококачественного приемлемого или оптимального решения. При решении ряда задач некоторые методы могут оказаться лучше остальных. Более того, для хорошей работы метода необходимо обеспечить баланс между глобальным поиском и перспективным поиском. Однако задача обеспечения такого баланса до сих пор не решена, и ни один метод не может похвастаться его наличием. Достижение этого баланса является сверхсложной оптимизационной задачей, которая зависит от многих факторов, таких как механизм работы метода, задание его параметров и их контроль. Более того, подобный баланс может оказаться в принципе не универсальным, а зависящим от рассматриваемой задачи.

Исследователи не стремятся разработать один-единственный наиболее удачный метод решения задач всех типов. Они стараются предложить наиболее удачные варианты существующих методов и разработать новые методы, в основу которых будут положены ещё не опробованные природные явления. Кроме того, на эффективность алгоритмов влияют значения их параметров. Правильное задание точно подобранных значений параметров является необходимым условием хорошей работы алгоритма. Настройка параметров всё ещё остаётся открытой для проведения исследований.

5. Заключение

В данной работе впервые проведён обзор основанных на законах распространения света методов оптимизации и посвящённой им литературы. Эффективность этих алгоритмов была исследована применительно к свободным от ограничений базовым функциям и имеющим ограничения реальным конструкторским задачам. Было также проведено сравнение основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов друг с другом и с другими интеллектуальными поисковыми и оптимизационными алгоритмами, такими как *GA* и его разновидности. Успешность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов была подтверждена экспериментально.

Эффективность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов была рассмотрена применительно к решению имеющих ограничения реальных конструкторских задач. При этом использовались задачи конструирования сварной балки и работающей на растяжение/сжатие пружины, и эффективность основанных на законах распространения света оптимизационных алгоритмов впервые сравнивалась в одинаковых условиях. В случае работающей на растяжение/сжатие пружины *RO* оказался лучше всех других

методов, включая *OIO*, причём при решении этой задачи *OIO* не продемонстрировал более хорошие результаты, чем другие методы. Так что применительно к задаче конструирования работающей на растяжение/сжатие пружины основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы в целом проявили себя не лучше, чем другие описанные в литературе интеллектуальные методы. В случае сварной балки было установлено, что основанные на законах распространения света поисковые и оптимизационные алгоритмы сходятся к глобальным минимумам лучше, чем прочие алгоритмы. Важным следствием этого является то, что хотя интеллектуальные методы обеспечивают получение хороших результатов в случае имеющих ограничения реальных конструкторских задач, всё же не удаётся доказать, что они хороши и применительно ко всем свободным от ограничений и имеющим ограничения задачам и функциям.

Насколько нам известно, в литературе отсутствуют упоминания об отличных от *RO* и *OIO* основанных на законах распространения света интеллектуальных оптимизационных алгоритмов. Что касается эффективности основанных на законах распространения света алгоритмов, то если учитывать результаты, полученные применительно как к свободным от ограничений базовым функциям, так и к имеющим ограничения реальным конструкторским задачам, оказывается, что лучшую сходимость к глобальному решению обычно демонстрирует алгоритм *RO*. Основанные на законах распространения света оптимизационные алгоритмы появились совсем недавно, и полученные в данной работе результаты относятся к их классическим базовым вариантам. В дальнейшем более хороших результатов можно обеспечить, предложив новые распределённые, гибридные, адаптивные и параллельные варианты с оптимизированными параметрами. Для улучшения эффективности в эти методы можно включить элементы и возможности теории хаоса и квантовой вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hussain, K., Salleh, M.N.M., Cheng, S., Shi, Y. Metaheuristic research: a comprehen-

sive survey // *Artificial Intelligence Review*. – 2018. – Vol. 49, No. 1. – P. 1–43.

2. Nabaei, A., Hamian, M., Parsaei, M.R., Safdari, R. Samad-Soltani, T., Zarrabi, H., Ghassemi, A. Topologies and performance of intelligent algorithms: a comprehensive review // *Artificial Intelligence Review*. – 2018. – Vol. 49, No. 1. – P. 79–103.

3. Alatas, B. Chaotic bee colony algorithms for global numerical optimization // *Expert Systems with Applications*. – 2010. – Vol. 37, No. 8. – P. 5682–5687.

4. Kashan, A.H. A new metaheuristic for optimization: Optics inspired optimization // *Computers & Operations Research*. – 2015. – Vol. 55. – P. 99–125.

5. Kashan, A.H. An effective algorithm for constrained optimization based on optics inspired optimization (OIO) // *Computer-Aided Design*. – 2015. – Vol. 63. – P. 52–71.

6. Kaveh, A., Khayatazad, M. A new meta-heuristic method: ray optimization // *Computers & structures*. – 2012. – Vol. 112. – P. 283–294.

7. Kaveh, A., Khayatazad, M. Ray optimization for size and shape optimization of truss structures // *Computers & Structures*. – 2013. – Vol. 117. – P. 82–94.

8. Tsoulos, I.G. Modifications of real code genetic algorithm for global optimization // *Applied Mathematics and Computation*. – 2008. – Vol. 203. – P. 598–607.

9. Camp, C.V., Bichon J. Design of space trusses using ant colony optimization // *Journal of Structural Engineering*. – 2004. – Vol. 130. – P. 741–751.

10. Camp, C.V. Design of space trusses using big bang–big crunch optimization // *Journal of Structural Engineering*. – 2007. – Vol. 133. – P. 999–1008.

11. Perez, R.E., Behdinan, K. Particle swarm approach for structural design optimization // *Computers & Structures*. – 2007. – Vol. 85. – P. 1579–1588.

12. Kaveh, A., Talatahari, S. Particle swarm optimizer, ant colony strategy and harmony search scheme hybridized for optimization of truss structures // *Computers & Structures*. – 2009. – Vol. 87. – P. 267–283.

13. Kaveh, A., Ghazaan, M.I., Bakhshpoori, T. An improved ray optimization algorithm for design of truss structures // *Periodica Polytechnica, Civil Engineering*. – 2013. – Vol. 57, No. 2. – P. 97–112.

14. Kaveh, A., Javadi, S.M. Shape and size optimization of trusses with multiple frequency constraints using harmony search and ray optimizer for enhancing the particle swarm optimization algorithm // *Acta Mechanica*. – 2014. – Vol. 225, No. 6. – P. 1595–1605.

15. He, Q., Wang, L. An effective co-evolutionary particle swarm optimization for constrained engineering design problems // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2007. – Vol. 20, No. 1. – P. 89–99.

16. Yildiz, A. R. A novel particle swarm optimization approach for product design and manufacturing // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2009. – Vol. 40, No. 5. – P. 617–628.

17. Wang, J., Yin, Z. A ranking selection-based particle swarm optimizer for engineering design optimization problems // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. – 2008. – Vol. 37, No. 2. – P. 131–147.

18. Mahdavi, M., Fesanghary, M., Damangir, E. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems // *Applied mathematics and computation*. – 2007. – Vol. 188, No. 2. – P. 1567–1579.

19. Hedar, A.R., Fukushima, M. Derivative-free filter simulated annealing method for constrained continuous global optimization // *Journal of Global Optimization*. – 2006. – Vol. 35, No. 4. – P. 521–549.

20. Mezura-Montes, E., Coello, C.C., Landa-Becerra, R. Engineering optimization using simple evolutionary algorithm // *Proc. 15th IEEE International Conf. on Tools with Artificial Intelligence*, 2003. – P. 149–156.

21. Badrloo, S. A new method for solving combinatorial optimization problems with permutation based solution structure using optics inspired optimization // *Azad University, Science and Research Branch*, 2015, Iran.

22. Moghadasi, M. Design of image processing methods using league championship algorithm and optics inspired optimization // *Azad University, Science and Research Branch*, 2015, Iran.

23. Badrloo, S., Kashan, A.H. A new method for the travelling salesman problem based on Optics Inspired Optimization // *Int. Conf. on Modern Research in Management and Industrial Engineering*, 2015, Iran.

24. Badrloo, S., Kashan A.H. A new method for the quadratic assignment problem based on Optics Inspired Optimization // *Int. Conf. on Modern Research in Management and Industrial Engineering*, 2015, Iran.

25. Lalwani, P., Banka, H., Kumar, C. CRWO: Clustering and routing in wireless sensor networks using optics inspired optimization // *Peer to Peer Networking and Applications*. – 2017. – Vol. 10, No. 3. – P. 453–471.

26. Abdulla, A.E., Nishiyama, H., Kato, N. Extending the lifetime of wireless sensor networks: A hybrid routing algorithm // *Computer Communications*. – 2012. – Vol. 35, No. 9. – P. 1056–1063.

27. Yu, J., Qi, Y., Wang, G., Gu, X. A cluster-based routing protocol for wireless sensor networks with non-uniform node distribution // *AEU-International Journal of Electronics and Communications*. – 2012. – Vol. 66, No. 1. – P. 54–61.

28. Sabet, M., Naji, H.R. A decentralized energy efficient hierarchical cluster-based

routing algorithm for wireless sensor networks // AEU-International Journal of Electronics and Communications. – 2015. – Vol. 69, No.5. – P. 790–799.

29. *Ozdemir, M.T., Ozturk, D.* İki bölge li güç sisteminin optikten esinlenen optimizasyon algoritması ile optimal yük frekans kontrolü // Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2016. – Vol. 28, No. 2. – P. 57–66.

30. *Muller, S.D., Marchetto, J., Airaghi, S., Koumoutsakos, P.* Optimization based on bacterial chemotaxis // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2002. – Vol. 6. – P. 16–29.

31. *Altay, E.V., Alatas, B.* Bird swarm algorithms with chaotic mapping // Artificial Intelligence Review. – 2020. – Vol. 53, No. 2. – P. 1–42.

32. *Alatas, B.* Sports inspired computational intelligence algorithms for global optimization // Artificial Intelligence Review. – 2019. Vol. 52, No. 3. – P. 1579–1627.

33. *Bingol, H., Alatas, B.* Chaotic league championship algorithms // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2016. – Vol. 41, No. 12. – P. 5123–5147.

34. *Belegundu, A.D., Arora, J.S.* A study of mathematical programming methods for structural optimization. Part I: Theory // Int. Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1985. – Vol. 21, No. 9. – P. 1583–1599.

35. *Ragsdell, K.M., Phillips, D.T.* Optimal design of a class of welded structures using geometric programming // Journal of Engineering for Industry. – 1976. – Vol. 98, No. 3. – P. 1021–1025.



Билал Алатас (Bilal Alatas), Ph.D., профессор. Заведующий кафедрой разработки программного обеспечения Университета Фират, Элязыг, Турция. Область научных интересов: искусственный интеллект,

поиск закономерностей в базах данных, анализ социальных сетей, метаэвристическая оптимизация и машинное обучение. Автор более 150 публикаций в известных международных журналах и редактируемых трудах конференций. Редактировал 12 журналов и рецензировал статьи для 60 журналов



Харун Бингол (Harun Bingol), M.S. (2016 г.). Аспирант (Ph.D.) Университета Фират, Элязыг, Турция. Область научных интересов: искусственный интеллект, оптимизация, поиск закономерностей в базах данных, анализ социальных сетей и машинное обучение

«Да будет свет» Библия

В 2017 году ЮНЕСКО провозгласила 16 мая ежегодным Днём Света.

Тем самым, наконец, была официально признана исключительная роль световой энергии Солнца в создании жизни на Земле, в создании растительности и животного мира, и в том числе человека на нашей планете.

Это развитие шло крайне медленно, в течение сотен тысячелетий, пока в конце XIX века не наступила эра электричества. С появлением электрической лампы и электрических сетей началась эпоха электрического освещения, придавшая мощный импульс быстрому развитию человеческого общества, расцвету образования, культуры, промышленности и транспорта – всего того, без чего не мыслимо существование человечества.

Именно освещение позволило человечеству использовать не только короткий световой день, но продлило условия для полезной творческой деятельности и отдыха.

Без современного освещения и световой сигнализации, то есть без современных зрительных световых технологий, оказалась бы невозможной жизнь городов и особенно городского транспорта, существование металлургических и химических заводов с непрерывным производственным циклом.

Что такое города-миллионники без метрополитенов, а станции и тоннели метро без электрического освещения?

Как могли бы существовать средства транспорта (автомобили, поезда, самолёты, корабли) без освещения внутренних помещений и путей следования? Каково было бы состояние людей без современной светотерапии, новых видов безоперационных методов лечения? Насколько бы ухудшилось состояние зрения учащейся молодёжи без хорошего освещения? Какой бы была производительность труда на заводах и качество продукции без специального освещения? А как бы делали сложнейшие полосные операции, для которых требуется освещённость в десятки тысяч люкс при старом керосиновом или свечном освещении?

На электрическое освещение в Москве и Санкт-Петербурге расходуется до 25 % от всей потребляемой в этих городах электроэнергии. В СССР работало более миллиарда световых точек преимущественно с лампами накаливания. За всё двадцатое столетие и 20 лет XXI века светотехники боролись за повышение эффективности осветительных установок, которое во многом зависит от световой отдачи (лм/Вт) и срока службы источников света. На наших глазах мы отошли от ламп накаливания (10 лм/Вт и 1000 час.), от

люминесцентных лампы (50–55 лм/Вт и 15–20 тыс.час.) и пришли к натриевым лампы высокого давления (120–130 лм/Вт, 20 тыс.час.) и, наконец, к светодиодам (160–180 лм/Вт, 50 тыс.час.). Это, а также развитие в стране электрогенерирующих мощностей, электростанций, позволило за последние 50 лет резко повысить уровень и качество освещения.

Надо ясно понимать, что свет (оптическое излучение) включает в себя не только видимое, но и не видимое излучение – в ультрафиолетовом и инфракрасном участках спектра. К незрительным световым технологиям надо, прежде всего, отнести использование ультрафиолетового излучения в облучательных установках. А это обеззараживание воздуха и поверхностей в помещениях, что так важно всегда, но особенно сейчас при пандемии коронавируса. К ним же относятся обеззараживание с помощью того же бактерицидного излучения воды, что позволяет превращать грязную воду, например, из Невы и Ладожского озера, в кристально чистую питьевую воду. Такие установки стоят на Главной водопроводной станции Санкт-Петербурга. Эту воду пьёт большая часть жителей этого города.

К незрительным световым технологиям относятся все облучательные установки в сельском хозяйстве в теплицах защищённого грунта.

Сюда же относятся солнечные электростанции, превращающие солнечную энергию в электрическую. А также световая локация облачности, и полей со злаками и другими растениями для определения степени их созревания.

Новые технологии пробивают себе дорогу. Впервые в мировой светотехнике найдены пути совершенно безопасного и надёжного освещения особенно взрывоопасных помещений насосных станций с помощью полых световодов (производство взрывчатки, освещения насосных станций нефтепроводов и газопроводов). Полые световоды позволяют осветить и такие новые производства, как термостатные цеха и помещения с особыми требованиями к частоте микрорелектронной промышленности и других.

Без света жизни НЕТ, прогресса человечества не будет.

Важно, чтобы все это понимали. Также важно создавать комфортную световую среду затраты на которую многократно окупятся благодаря сохранению здоровья людей, повышению производительности труда, качества продукции и исключения возможных техногенных катастроф.

**Академик АЭН
Ю.Б. Айзенберг**